

Tema 2. Bases físicas. Origen y evolución.

(Physical foundations. Origin and evolution).

2.1. Bases físicas y evolución del paisaje mediterráneo

- **Analizar y comprender la biodiversidad mediterránea en el espacio y en el tiempo**, que puede considerarse el eje central de esta asignatura, requiere una explicación de **cómo y cuando** se han desarrollado los rasgos que actualmente contemplamos (BLONDEL & ARONSON 2004).
- Sin olvidar que la **influencia humana** es extraordinariamente intensa y en algunos lugares y momentos se sobrepone a cualquier otro factor.

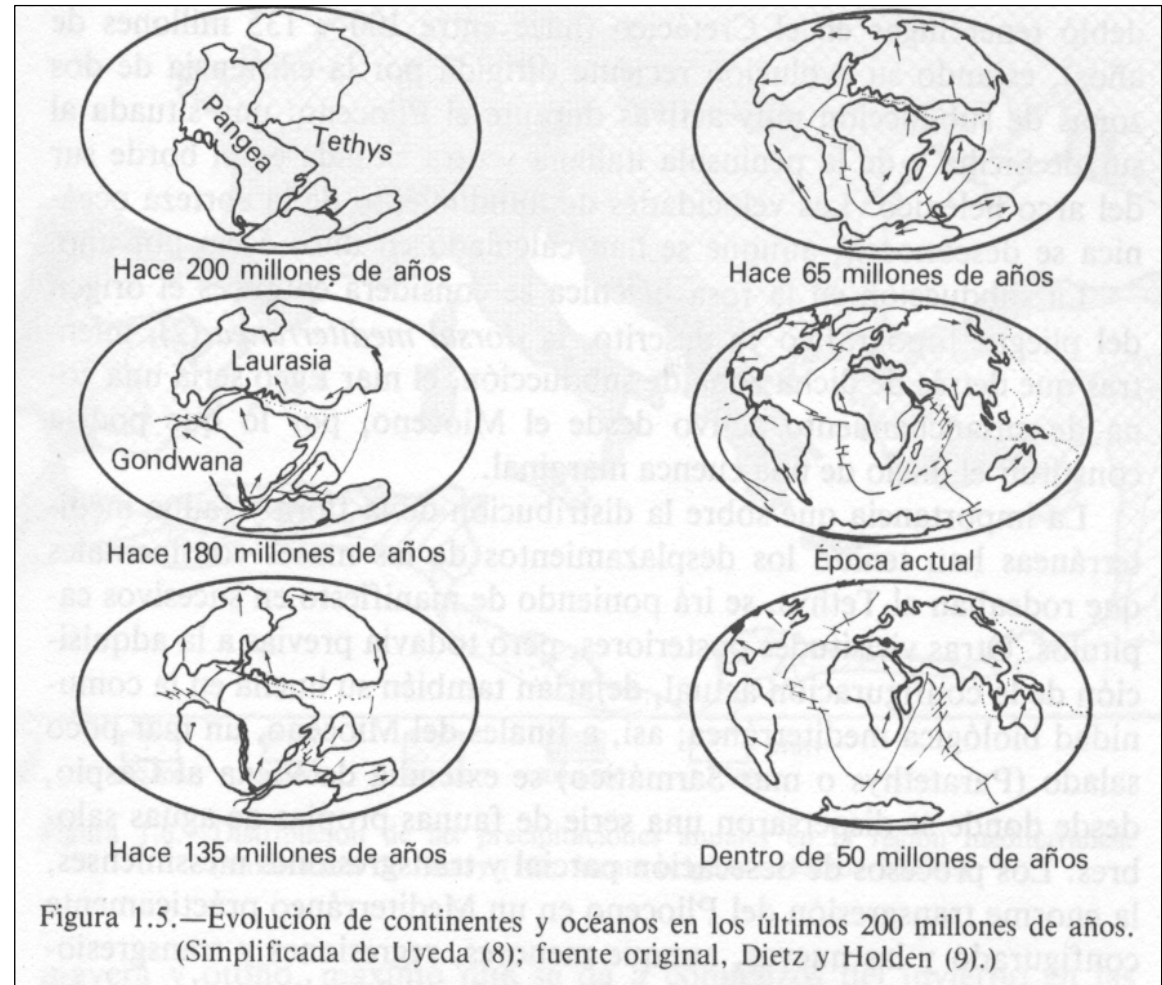
Los **avances** en el **estudio, interpretación y comprensión** de la evolución del espacio mediterráneo han permitido:

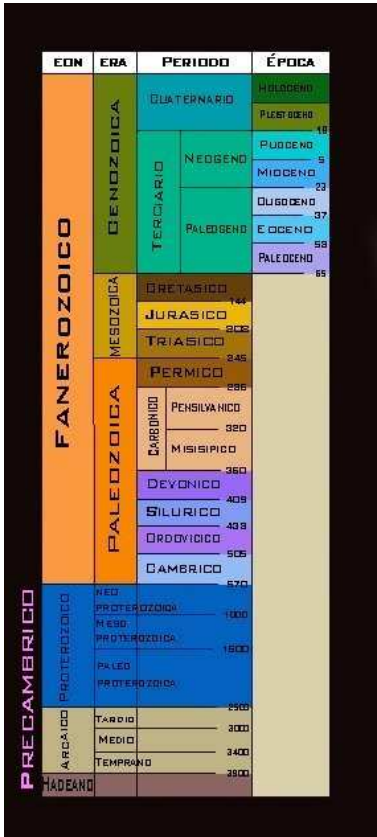

- valorar en su justa medida la contribución de distintos procesos y factores, y
- **cuestionar** algunas teorías imperantes durante periodos prolongados: teorías "degradacionistas" o las que confundían las oscilaciones climáticas a medio-largo plazo con una presunta influencia antrópica sobre el clima (GROVE y RACKHAM, 2001)

Es indispensable por lo tanto **deslindar la contribución que han tenido la evolución geológica, los cambios climáticos pasados y recientes, y la influencia humana desde la Prehistoria a la configuración actual de su biodiversidad**, al tiempo que se presentan los **fundamentos físicos** que le dan soporte.

2.2. Evolución geológica: del Tethys al Mediterráneo

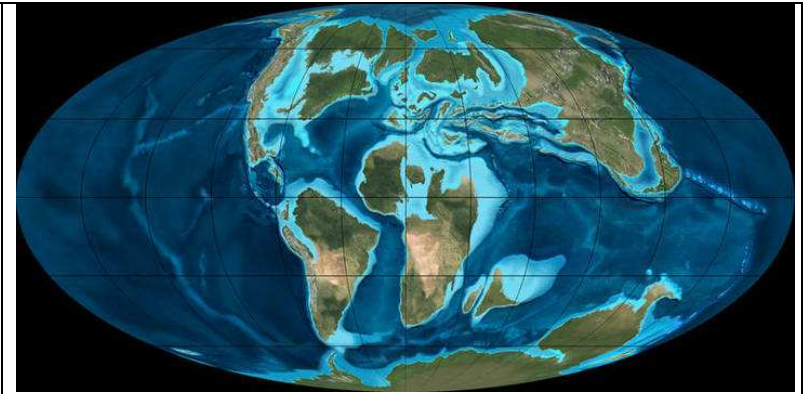
Para algunos autores, el Mediterráneo constituye una **reliquia del Tethys**, mientras que para otros, este desapareció completamente con la **orogenia Alpina**. Estudios geofísicos y de tectónica de placas demuestran que el mar Mediterráneo presenta **características antiguas y modernas**. Los modelos de reconstrucción dinámicos revelan un mosaico cambiante de placas pequeñas y grandes que forman dorsales, fosas, cuencas marginales y arcos de islas).



Millones de años (A.P.)	Hitos destacables	
200 	<p>Desde el inicio del Mesozoico el "antecesor gigante" del Mediterráneo, el Tethys, formaba un vasto corredor marítimo que subdividía el supercontinente (Pangea) entre los protocontinentes Laurasia y Gondwana. Durante esta época la geografía física del futuro Mediterráneo cambió continuamente como resultado de periodos de convergencia y colisiones entre placas tectónicas, mientras que la expansión del fondo marino reajustaba repetidamente las posiciones relativas de las placas continentales y océanos en el antiguo Tethys</p>	 <p>TRIÁSICO Hace 200 millones de años</p>

165-80

Entre el Jurasico medio y el Cretácico superior, un movimiento hacia el E de África con respecto a Europa (entonces unida a Norteamérica) permitió la formación del Océano Atlántico. Siguiéron movimientos hacia el W a la vez que Europa se separaba de Norteamérica

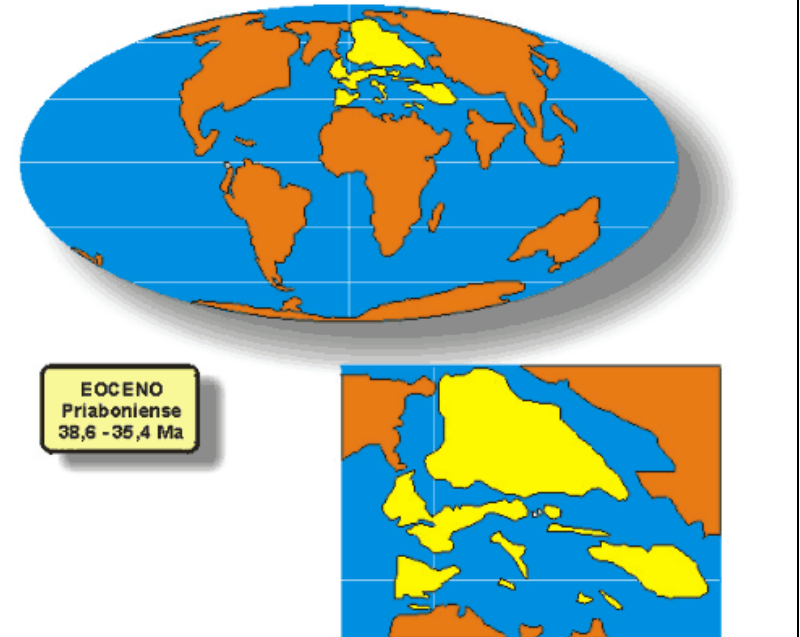


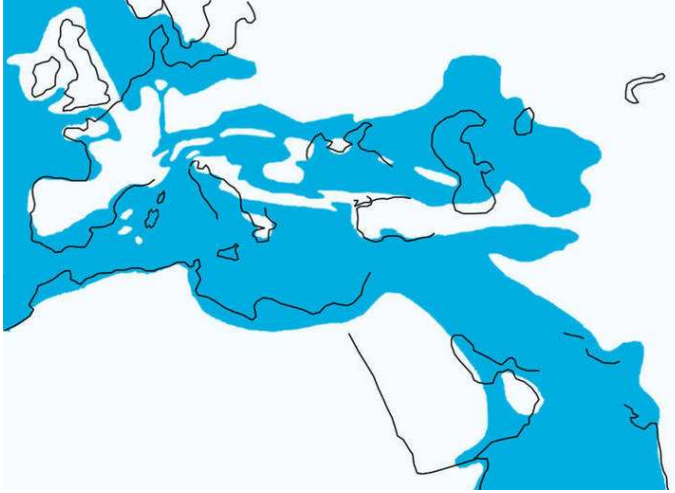
CRETÁCICO
Maastrichtense
70 Ma



40-23

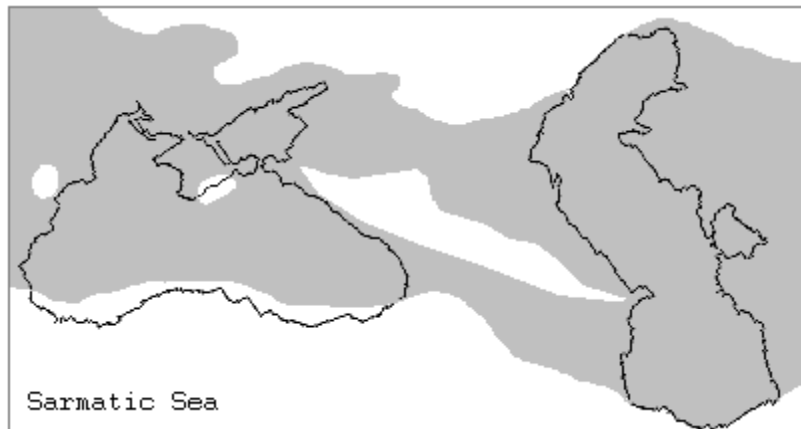
Eoceno superior: nuevo movimiento hacia el E de África, ensanchando el Atlántico. Esto llevó al cierre gradual del espacio entre Europa y África y a la eliminación de la mayor parte del Tethys original. Al tiempo, el movimiento hacia el N de África inició la formación de las cadenas montañosas que circundan el Mediterráneo. Todos estos movimientos y los que se sucedieron posteriormente contribuyeron a la intrincada geografía del Mediterráneo, un complicado rompecabezas de montañas e islas que refleja las interacciones y colisiones entre los bloques continentales del N de África el Sur de Eurasia. Estos movimientos ocasionaron la rotación de microcontinentes o microplacas tectónicas, que se separaron de los principales bloques continentales



25	<p><u>Oligoceno superior</u>: la placa africana (incluyendo Arabia) entra en contacto con el SW de Asia, dividiendo el antiguo Tethys en dos partes:</p> <ul style="list-style-type: none">- SUR: antecesor del moderno Mediterráneo- NORTE-ESTE: Paratethys, somero y salobre (origina los actuales Mar Negro, Caspio y de Aral)	 El mapa muestra la configuración geográfica de la región del Mediterráneo y el Medio Oriente durante el Oligoceno superior. Se observan las placas tectónicas de Europa y África (incluyendo Arabia) que están comenzando a interactuar. El antiguo Tethys se divide en dos partes: el Mediterráneo al sur y el Paratethys al norte-este. El Mar Negro, el Caspio y el Mar de Aral están indicados como áreas de agua somera y salobre.
----	--	---

- Durante el Terciario, el Mediterráneo se fue reduciendo a una red de mares epicontinentales a medida que se cerraba el hueco entre las placas Europea y Africana.
- El movimiento general de colisión África-Europa, bajo el efecto de modificaciones globales, se tradujo en los plegamientos alpinos, que dieron origen a las cordilleras de montañas que bordean el mar: **Alpes, Pirineos, cordillera Ibérica, cordilleras Béticas, Atlas, Ródope, Tauro, Alpes Dináricos.**

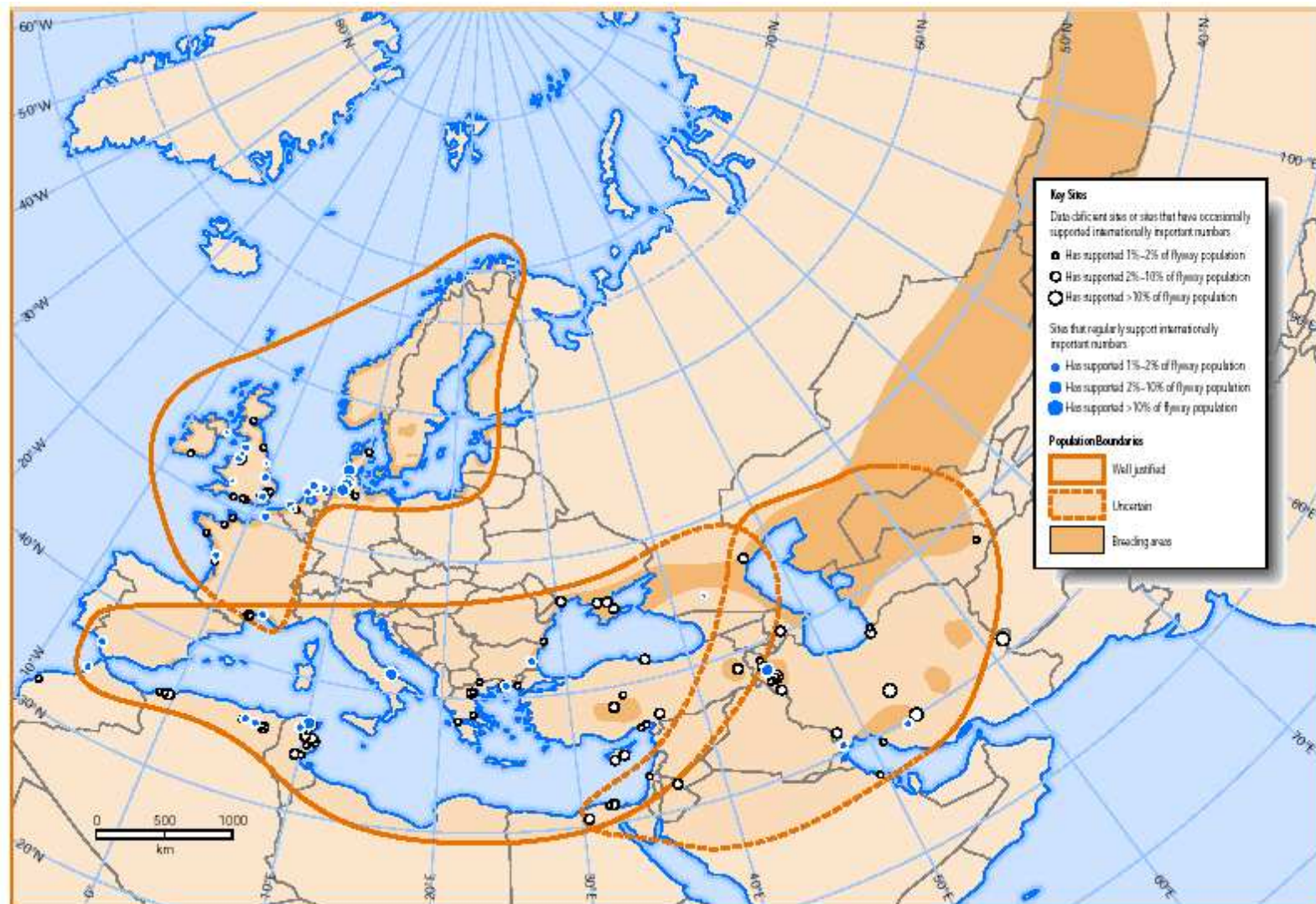
- El movimiento de colisión originó también, la aparición de grandes sistemas de fracturas o rift, y cambios en la geometría que acarrearía una importante reducción del espacio oceánico entre África y Europa.
- Este fenómeno tuvo lugar según un proceso de **subducción**, que todavía se produce en el Mediterráneo. La inmersión de una placa bajo otra acarrea, a causa de la fusión y de la fricción mecánica, fenómenos volcánicos y sísmicos característicos de las márgenes llamadas "activas", como el Sur de Grecia o de Italia.



Algunas especies denominadas "Sarmáticas" (Sarmatico = Paratethys), como el Tarro Blanco (*Tadorna tadorna*), y otras aves acuáticas, recuerdan en su distribución actual la continuidad de estos dos antiguos mares.

La capacidad de esta especie de vivir en ambientes hipersalinos también evoca la gradual transformación del océano primigenio en una red de mares interiores de variable salinidad
(No obstante, en su actual forma la especie no tiene más de 3-5 Ma de antigüedad)

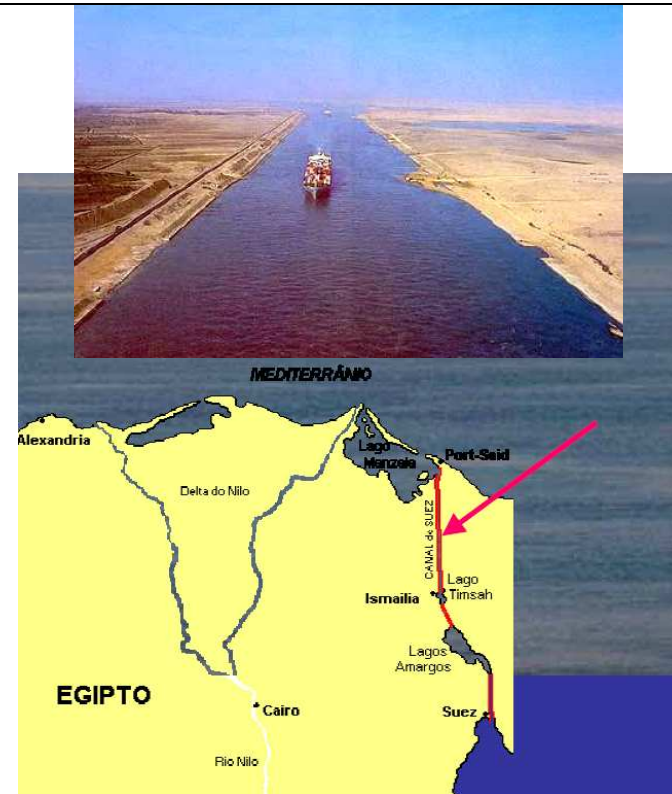




20

Se cerró toda conexión con el Índico con la formación del istmo de Suez, no recuperándose esta artificialmente hasta 1869 con la construcción del canal del mismo nombre por Lesseps.

Esta apertura marcó el fin del "lago mediterráneo", y la conversión de la cubeta interna del mismo en una cuenca marina volcada hacia el Índico.



6

Mioceno: África colisionó con el SW de Europa, elevando aun mas los Pirineos, y cerrando por primera vez el Mediterráneo en su extremo occidental

El resultado es el abrupto contraste entre las mitades N y S del Mediterráneo:



	<ul style="list-style-type: none"> - N: grandes penínsulas = bandas de corteza continental capturadas en las colisiones Europa-África - S: Orillas rectilíneas 	
--	--	--

- A principios del período **Messiniense** (finales del Mioceno, hace de 6 a 5 millones de años), se cerraron las aberturas hacia el Atlántico situadas entre las Béticas y el Rif. Una fuerte aridez regional hizo aumentar la evaporación en este mar aislado y el nivel descendió por debajo del nivel del océano.
- Se produjo un descenso generalizado del nivel marino y al depósito de potentes unidades de evaporitas (yeso, halita, anhidrita y otras sales), que en algunos puntos sobrepasan los 2.500 m de espesor y se adelgazan hacia los márgenes de la cuenca y en la base del talud continental.
- Este fenómeno es conocido como la "**crisis de messiniense**", y tendría gran repercusión en la geomorfología, sedimentos y en la comunidad biológica mediterránea, en especial por los **procesos de desecación parcial y transgresiones** messinienses. El mar al

retirarse cientos de kilómetros de la antigua línea de costa, permitió el desarrollo de extensas superficies de erosión sobre la mayor parte de los márgenes continentales.

- Durante dos o tres millones de años este mar interior quedó aislado al cerrarse el canal marino que dividía la superficie peninsular.
- La aridez y fuerte insolación causaron una intensa desecación de la cuenca, que culminó con la reducción del Mediterráneo, a una serie de lagunas hipersalinas, separados por cordilleras montañosas cuyas cumbres son las actuales islas del Mediterráneo.
- Estos lagos salados se ubicaban entre las Baleares y Córcega y Cerdeña, y entre Baleares y el Norte de África. El resto del Mediterráneo occidental era tierra firme por la que los seres vivos podían circular, sin obstáculo entre África, la Península y Baleares
- Esta posibilidad de conexión tuvo gran importancia en la actual conformación de las biocenosis terrestres del área, especialmente de las especies halófilas, sobre todo vegetales, que proceden en su mayoría de las estepas de lo que hoy es Turquía y el Norte de África que colonizaron toda el área circunmediterránea.

- También la conexión entre Iberia y el Norte de África durante este periodo permite explicar la "emigración" a la placa africana de linajes faunísticos, como es el caso de los coleópteros del género *Thorectes* (MARTÍN-PIERA & SANMARTÍN, 1999).
- El nivel del mar se elevó y descendió varias veces como consecuencia de la deriva continental y la neotectónica. El resultado fue que el Atlántico arrojó millones de toneladas de agua, por encima del umbral de Gibraltar. La enorme catarata de agua del Atlántico sumergió el desierto salado a razón de 150 km^3 al día, de tal manera que el Mediterráneo se habría llenado de nuevo en poco más de un siglo.
- La crisis de salinidad fue interrumpida, hace unos 5 millones de años (principios de Plioceno), por la apertura del Estrecho de Gibraltar y el subsiguiente llenado del Mediterráneo con aguas del Atlántico, estableciéndose la conexión hidráulica entre el Atlántico y el Mediterráneo.

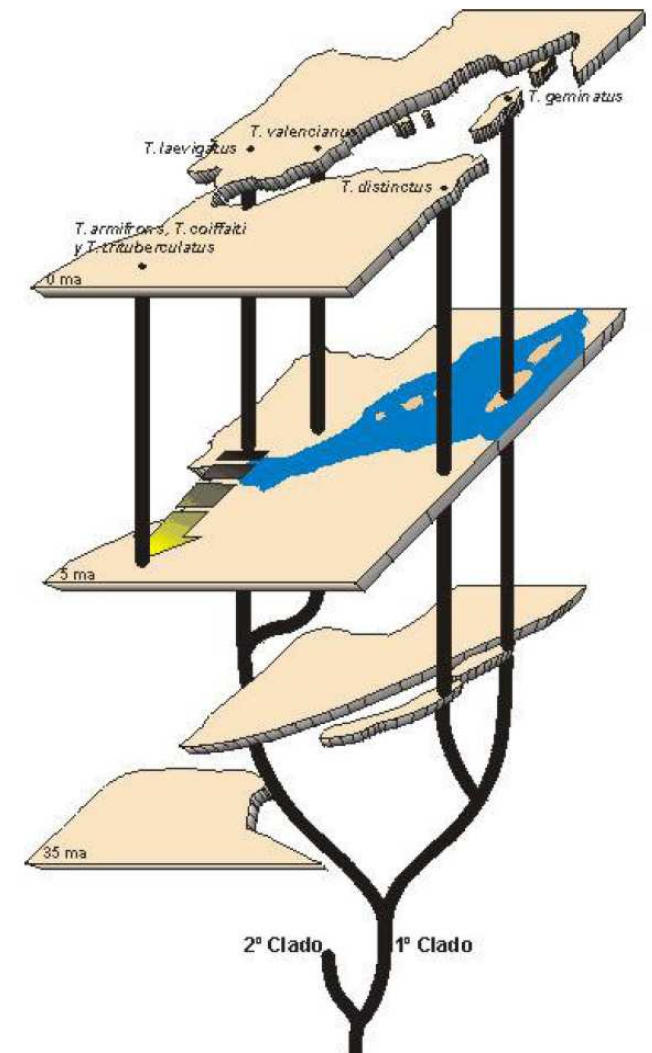


Fig. 18.- Evolución y reconstrucción de la biogeografía histórica del género *Thorectes*. La sección cartográfica inferior corresponde al Eoceno terminal (35 ma) y muestra las microplacas corso-sarda y la pequeña kabylia, al comienzo de su 'emigración' a partir de la primitiva placa ibérica. La sección intermedia corresponde al Mesiniense (5 ma) y la superior, la época actual. Adaptado de Palmer y Cambefort (1997).

2.3. El escenario físico

La Cuenca Mediterránea se extiende aproximadamente a lo largo de 3.800 km en sentido W→E, y otros 1.000 km en sentido N→S, entre los 30° y los 45° de latitud N.



2.3.1. ACTIVIDAD VOLCÁNICA Y SÍSMICA

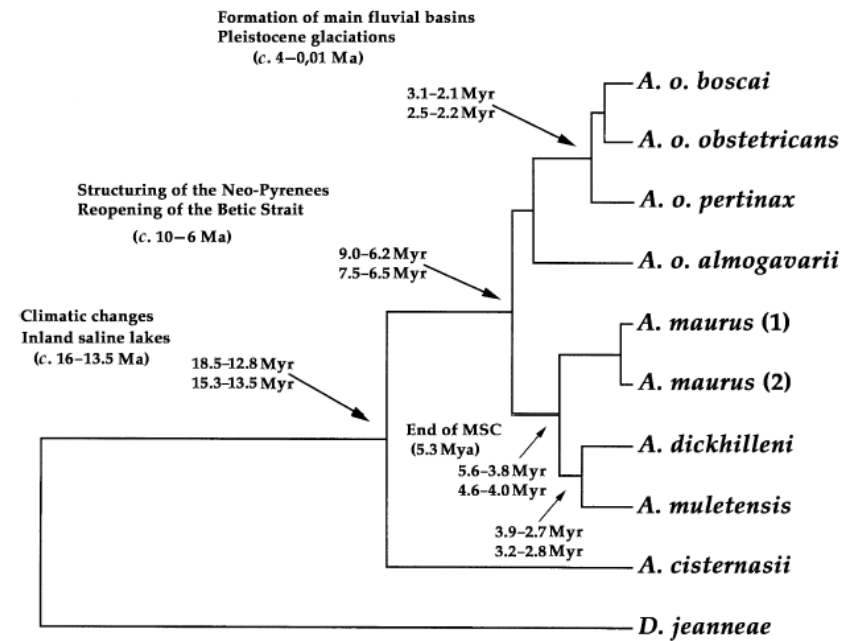
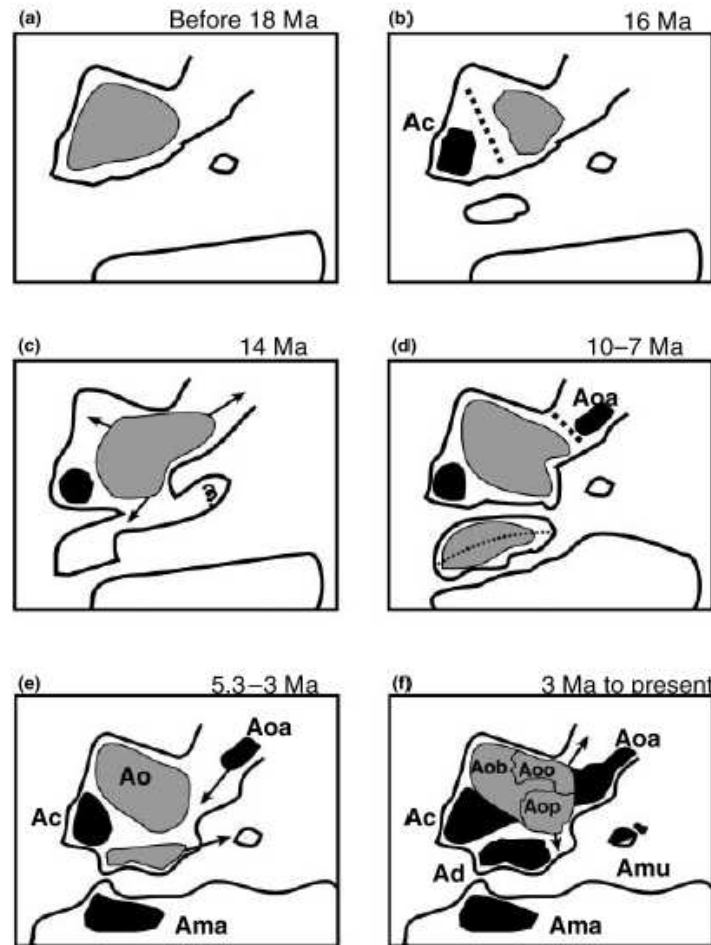
- El re-modelado tectónico, estimulado por la orogenia Alpina (y otras), al igual que por los cataclismos sísmicos provocados por la colisión de las placas Eurasiática y Africana (que continúan moviéndose una hacia otra a una velocidad de unos 2 cm/año), contribuyen a una situación geomorfológica extraordinariamente compleja.
- La Cuenca Mediterránea se contrae lentamente a medida que la placa continental africana se introduce bajo la de Europa. La formación de montañas todavía está en marcha, se producen **terremotos** cada pocas décadas.
- En muchas zonas de la cuenca los fenómenos tectónicos han venido acompañados por episodios de **actividad volcánica** hasta periodos históricos (como la erupción del Vesubio (62 AC), causante de la destrucción de Pompeya, o las del Stromboli o el Etna. La erupción de Santorini (I. Cícladas), hace unos 3.000 años, fue una de las catástrofes más significativas en la historia de la Tierra -al nivel de la de Krakatoa-, pudiendo haber precipitado el colapso de la civilización Minoica. Los registros históricos también revelan terremotos devastadores (al menos 100 de importancia durante los últimos 1.000 años).

El análisis de la actividad sísmica revela la importancia de la **actividad tectónica** a la hora de desentrañar la evolución de la Cuenca Mediterránea. Al igual que climáticamente es una zona de transición entre Europa y África, representa una frontera entre las **placas Eurasiática, Africana y Arábica**, pero con un buen número de placas secundarias o **microplacas** (ALLEN, 2001).



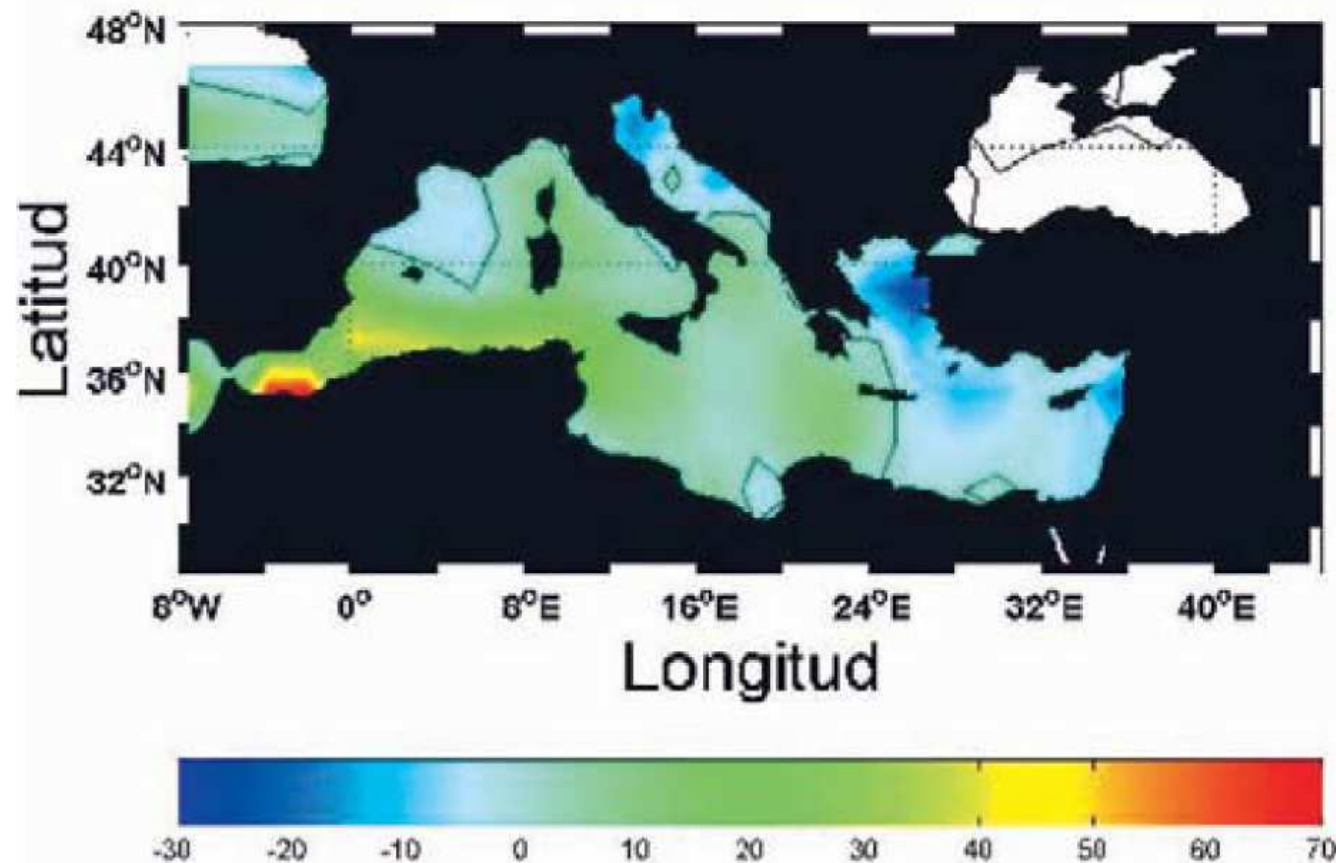
La tectónica de microplacas guarda una importante relación con la diversificación de la biota actual de la Cuenca, permitiendo su estudio establecer el origen de muchos taxones cuya diferenciación se había atribuido a procesos mucho más recientes (microespeciación insular debida a variaciones cuaternarias del nivel del mar).

Alytes/Discoglossus



2.3.2. EL MAR

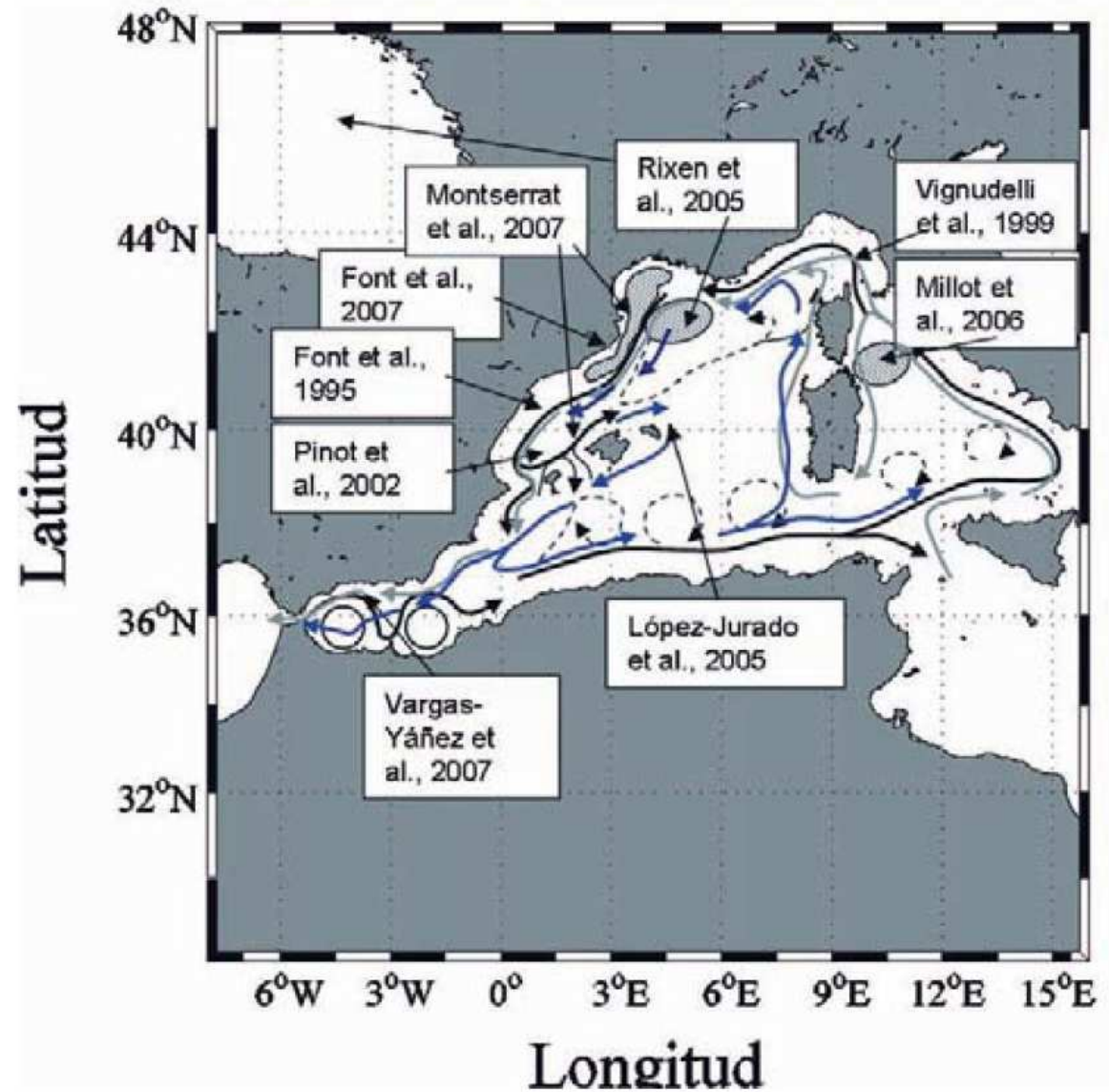
- El Mediterráneo es el **mayor mar interior del mundo**, extendiéndose a lo largo de casi 3 millones de km² (2.969.000), con una costa de 46.000 Km de longitud y varios "mares interiores" delimitados por las costas de los principales archipiélagos y penínsulas de la ribera N: Balear, Tirreno, Adriático y Jónico, Egeo (BLONDEL & ARONSON, 1999).
- Actúa como cuenca de concentración, es decir, la evaporación supera a los aportes de las precipitaciones y ríos de tal forma que, si no estuviese conectado con el Atlántico, iría secándose progresivamente. A través de su conexión con el Atlántico, el estrecho de Gibraltar recibe agua que mantiene el balance de masa en el Mediterráneo. El flujo medio anual de calor entre él y la atmósfera promediado sobre un periodo largo de tiempo, muestra que el Mediterráneo pierde entre 5 y 7 W/m² (VARGAS *et al.*, 2008).



Flujo medio anual en el Mediterráneo expresado en Wm^{-2} . Los valores negativos indican flujo desde el mar hacia la atmósfera. Nótese los valores negativos en las zonas de convección y formación de aguas profundas e intermedias en el golfo de León, Adriático, Egeo y cuenca levantina. La línea continua indica el valor cero.

- El flujo de agua superficial del Atlántico a través del estrecho de Gibraltar compensa el balance hídrico negativo. En dicho balance intervienen entradas netas a través del Estrecho de Gibraltar ($1,800 \text{ km}^3$) y los Dardanelos (300 km^3), aportes de los ríos (500 km^3 , de los cuáles el 92% se origina en la orilla N, y precipitación ($1,000 \text{ km}^3$). En el lado negativo, está la evaporación ($3,500 \text{ km}^3$) que tiene lugar sobre todo durante el invierno y primavera debido a la predominancia de vientos del continente, fuertes y secos, y está estrechamente asociada con el proceso por el que se forman aguas profundas de alta salinidad.
- El déficit total de agua de la cuenca Mediterránea, es decir, la suma de los flujos netos que recibe del Atlántico ($1.740 \text{ km}^3/\text{año}$) y del mar Negro ($189 \text{ km}^3/\text{año}$), es de $1.929 \text{ km}^3/\text{año}$. Esta cifra representa el agua que perdería la cuenca mediterránea en un año si no estuviera comunicada con las otras dos masas de agua. Si se tiene en cuenta la superficie de este mar puede calcularse una altura deficitaria de $0,76 \text{ m/año}$, altura que descendería el nivel del Mediterráneo en un año si quedara aislado.
- Excepto en muy pocas zonas, como el Golfo de Gabes en Túnez, el Mediterráneo se caracteriza por **mareas muy débiles**.
- La corriente superficial del Mediterráneo muestra una migración de agua atlántica hacia el E con numerosas espirales divergentes a lo largo de su trayectoria. Esta característica

tiene consecuencias relevantes para las características de las riberas y especialmente para la polución costera. No hay un sistema de retorno del Este al Oeste, pero éste se produce a través del flujo de aguas intermedias y profundas en sentido E→W que desbordan el umbral de Gibraltar hacia el Atlántico. Estas corrientes intermedias y profundas son mantenidas por una intensa evaporación que transforma agua superficial con una salinidad ligeramente por encima de 36 ‰ en agua más densa con una salinidad de 38 ‰ o más (alcanzando



39 ‰) en la cubeta oriental. El sistema de circulación mediterránea también incluye fuertes corrientes convectivas ascendentes que determinan la distribución vertical de la salinidad y permiten el **reciclado de nutrientes y otras sustancias disueltas**.

- Una característica fundamental del agua mediterránea es precisamente su su carácter **oligotrófico**. Las aguas profundas, ricas en nutrientes, del Atlántico, no participan en la circulación Mediterránea. El único incremento en la concentración de nutrientes corresponde en exclusiva a los aportes de los ríos y al drenaje agrícola o a la contaminación orgánica.

2.3.3. TOPOGRAFÍA

El Mediterráneo es un "**Mar entre montañas**"

La diversidad topográfica resulta principalmente de las cadenaas montañosas que definen la cuenca en diversos bordes continentales, excepto en el SE (Egipto, Siria), donde el desierto entra en contacto con el Mar. Estas son principalmente:

- Pirineos
- Sª Nevada (3.481)

- Alpes
- Apeninos
- Alpes Dináricos
- M. Pónticos, Taurus (3.920) (Anatolia)
- Cáucaso
- Atlas (4.165)

Algunas se aproximan o superan los 4.000 m y aíslan cuencas o mesetas interiores

Las pendientes superiores al 20% dominan en más de la mitad del territorio

Las cadenas montañosas circunmediterráneas son el origen de ríos que tienen primero tramos encajados y de aguas rápidas, divagan luego en meandros por llanuras aluviales y terminan en extensos deltas (Guadalquivir, Ebro, Ródano, Po, Evros, Nestos). Únicamente el Nilo no es "nativo" de la cuenca

La heterogeneidad resultante es elevada, también localmente -> microclimas

El Mediterráneo tiene casi 5.000 islas e islotes:

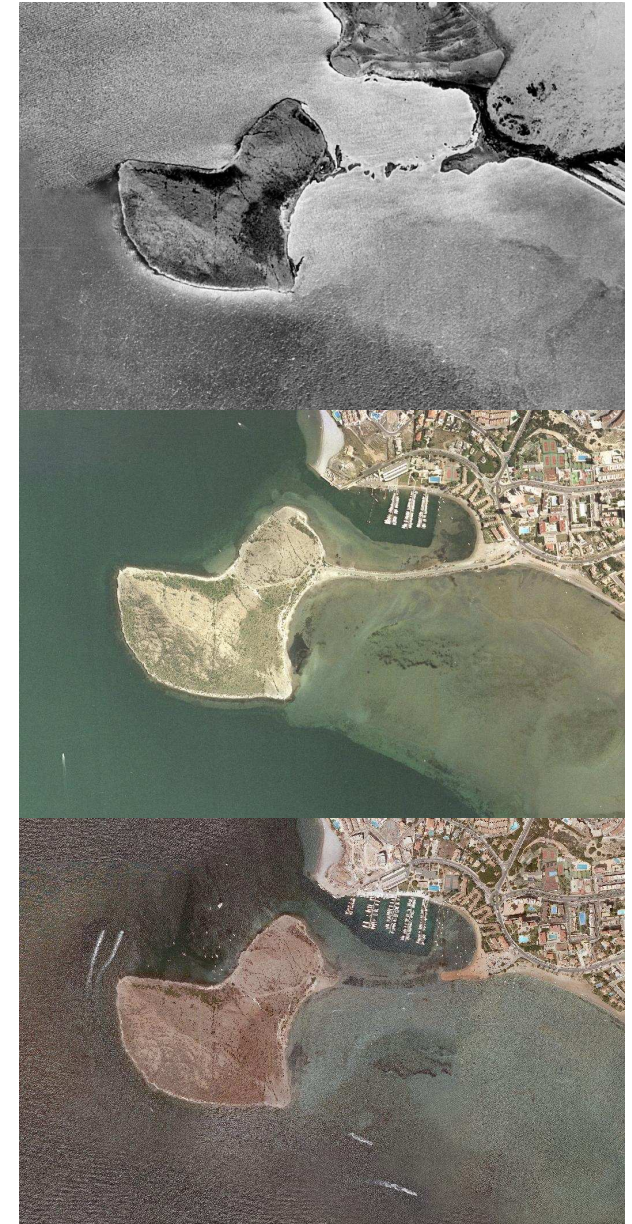
- Representan 18.000 km de costa

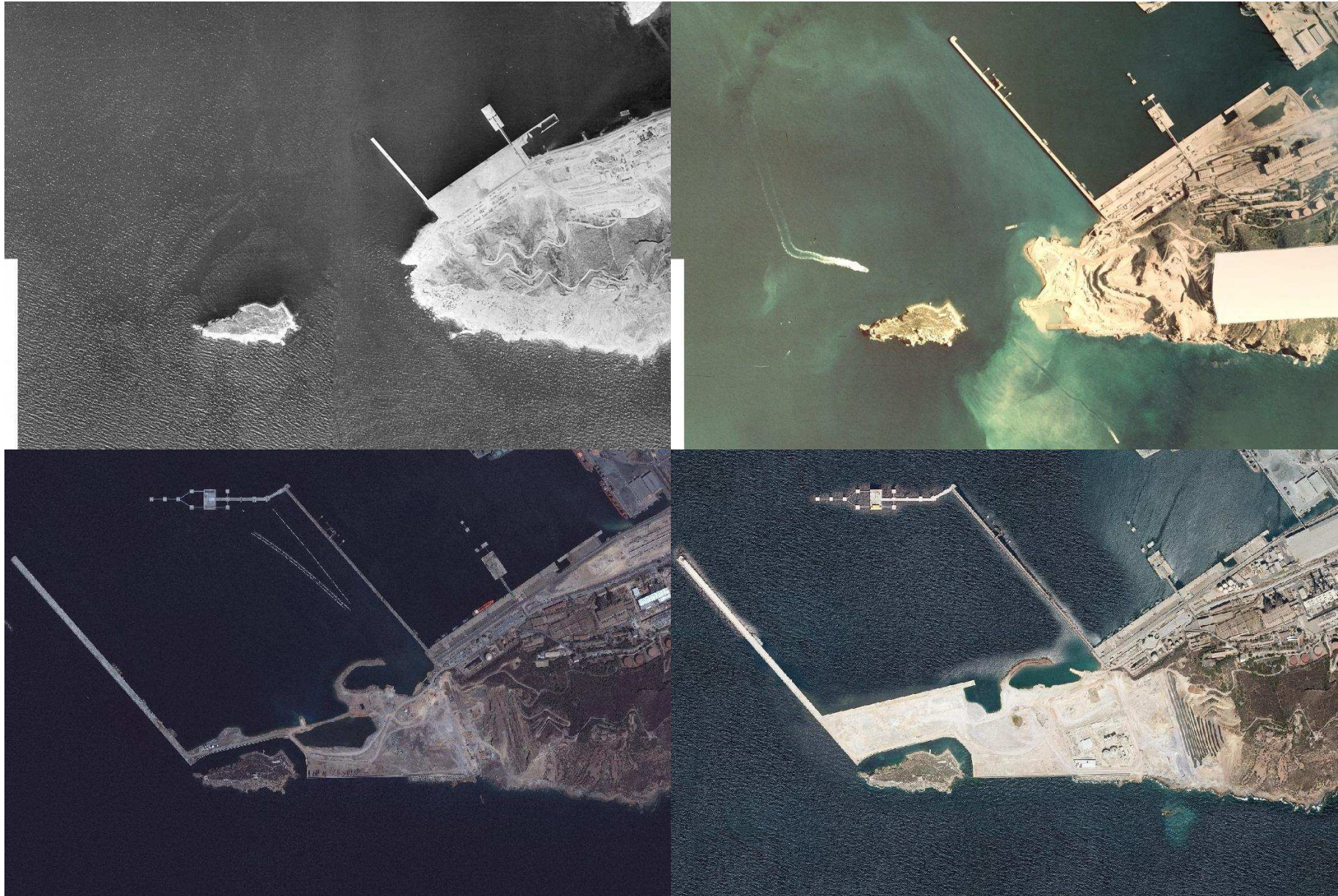
- Cada isla o islote muestra una combinación única de rasgos físicos, bioclimáticos y ecológicos
- La mayoría de las grandes islas han estado totalmente desconectadas de cualquier continente desde el Messiniense
- Varias son, de hecho, antiguos volcanes submarinos: Monte Trodöos (Chipre), emergió como isla oceánica al final del Cretácico (65 Ma A.P.)

Además, puede hablarse de islas biológicas:

- Naturales: Magreb (isla paleártica en el N de Africa); Djebel Akhdar (Cirenaica), única porción de Libia con verdadero carácter mediterráneo
- Artificiales: Peloponeso (Canal de Corinto)

También se producen fenómenos de "desinsularización", sea por procesos naturales (tombolización) o con la intervención antrópica. Ejs.: Escombreras e Isla del Ciervo en Murcia. La secuencia muestra imágenes aéreas o de satélite de los años 1956, 2002, 2005 y 2007 (excepto 2005 para la segunda).



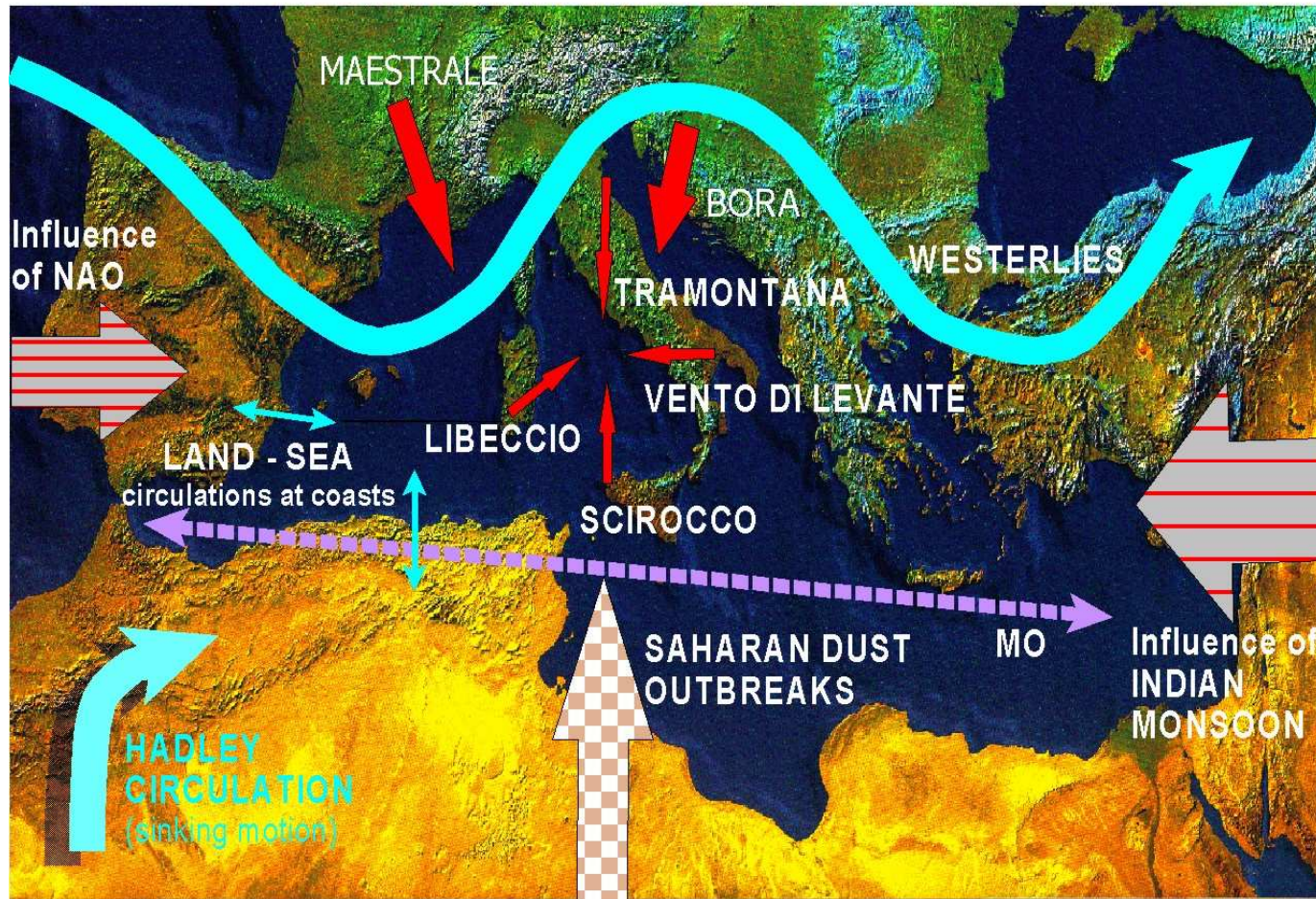


2.3.4. CLIMA

La Cuenca Mediterránea es una región de transición entre la zona sub-oceánica templada y fresca de Europa, y la subtropical árida, de altas presiones, del Norte de África; y entre los sistemas de presiones del Atlántico y los climas monzónicos del subcontinente indio y África oriental.

Por lo tanto, **patrones particulares de circulación atmosférica general exteriores a la cuenca interaccionan con y determinan los de su interior.**

- La posición geográfica del Mediterráneo, en el límite entre las rama descendente de la circulación de Hadley y los vientos del Oeste, la hacen influenciada por las anomalías u Oscilaciones del Atlántico Norte (NAO) que son causa de la gran variabilidad climática.
- Recibe también influencia de la circulación atmosférica del Sahara
- El Mediterráneo oriental se puede ver influenciado por el Monzón Indio



La figura muestra esquemáticamente algunas de las influencias sobre la Cuenca Mediterránea debido a los sistemas de viento de escala global y regional y la Oscilación Mediterránea (MO). Los sistemas regionales de viento para la region central (flechas rojas) con la nomenclatura italiana, existen en otras partes del Mediterráneo.

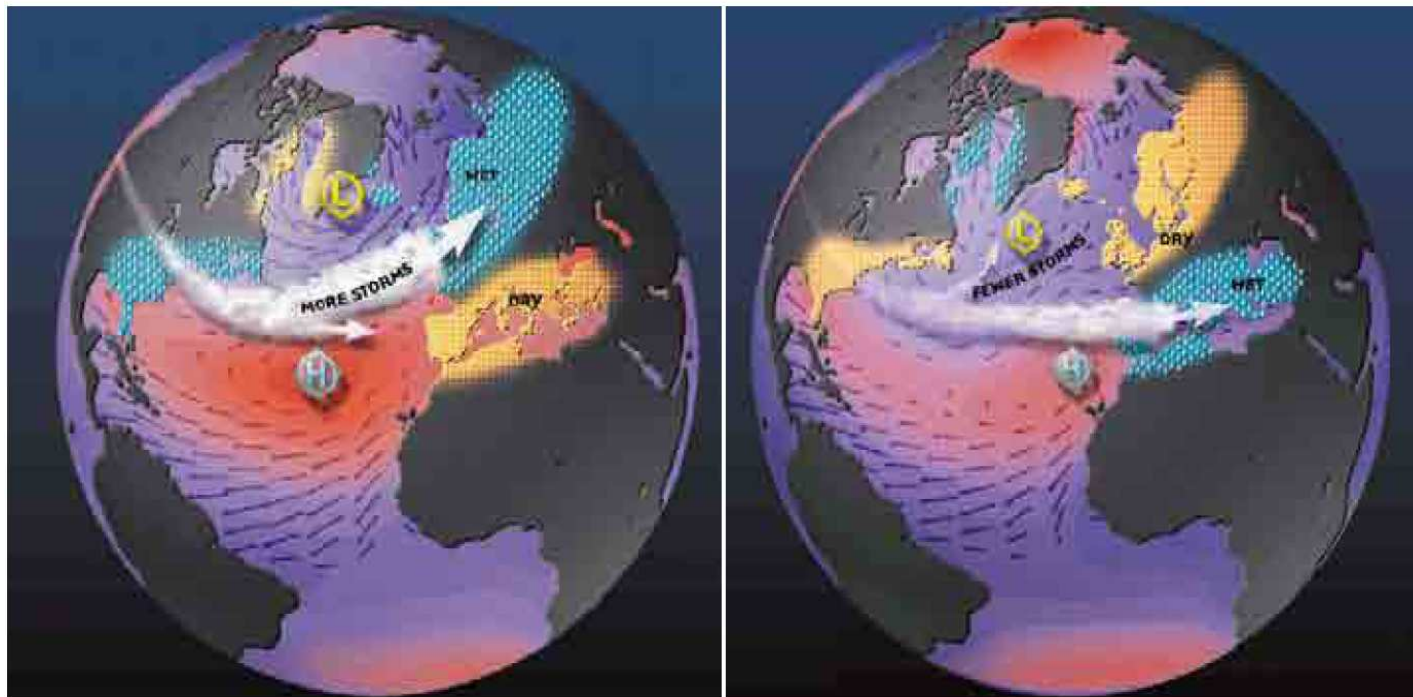
Esquema simplificado de la circulación atmosférica meridional



- La circulación atmosférica, normalmente descrita por los patrones espaciales de presión a nivel del mar (SLP) y su evolución en el tiempo, es una de las principales fuerzas motrices del clima. En el hemisferio N un buen ejemplo es la **Oscilación del Atlántico Norte**, con su correspondiente **índice (NAOI)**.

— **Winter-NAO Positive** —

Winter-NAO Negative



La célula de alta presión establecida sobre el Atlántico del Norte crea largos periodos de condiciones muy estables y bastante secas para la cuenca del Mediterráneo. Dado que los vientos sólo traspasan la frontera entre las células de altas y bajas presiones, la primera actúa como barrera para éstos, impidiéndoles la entrada en la cuenca del Mediterráneo.

En la situación contraria, existirá una diferencia de presión mucho menor entre las Azores e Islandia y las condiciones no serán tan estables, ya que los vientos no encontrarán un obstáculo tan grande que les impidiera la entrada en el Mediterráneo, trayendo consigo lluvias y humedad.

- Hay evidencias de que la NAO afecta poderosamente al clima mediterráneo, pero no es el patrón dominante de circulación en esa región.

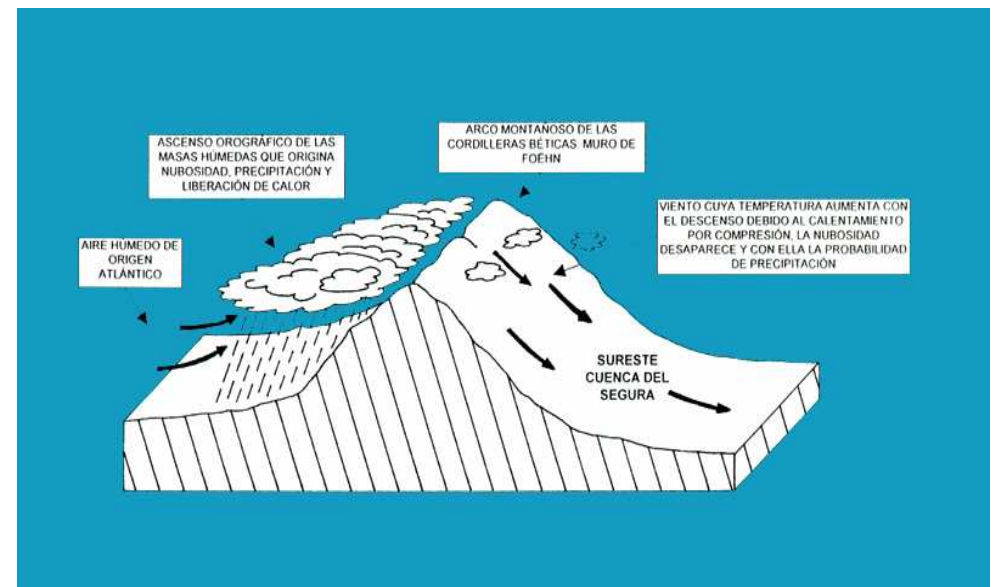
VARIACIONES INTERNAS:

El clima no es homogéneo. Todas estas interacciones explican diferencias climáticas internas que se superponen a un patrón consistente de veranos calurosos y secos e inviernos suaves y húmedos.

Otras características generales son:

- Fuertes vientos
- Lluvias torrenciales ocasionales
- Diferencias locales marcadas (debidas al relieve, pendiente, altitud y distancia al mar)

Efecto de las pantallas orográficas:



Los patrones de temperatura son diferentes a lo largo de la Cuenca, pero la temperatura invernal disminuye hacia el N y en altitud

Los patrones de precipitación:

- muestran un contraste entre dos máximos (otoño y primavera) en el N, y un solo (invierno) en el S
- también hay diferencias longitudinales: P anual es > en el W que en el E

La estación húmeda en el Mediterráneo llega habitualmente a final de octubre, y se prolonga aproximadamente hasta marzo. En el SE el inicio de esta estación es más tardía (Dic-Ene en Israel)

La primavera aparece gradualmente y es impredecible; puede asociarse con situaciones meteorológicas extremas

LLUVIA INVERNAL:

La precipitación invernal está asociada con la formación de bajas presiones en distintas regiones del Mediterráneo. Dado que la temperatura de la superficie del mar en invierno es mayor que la t° media del aire (en torno a 2°C en enero), las incursiones de aire más frío (polar marítimo del Atlántico o aire polar continental procedente del S de Europa) sufren un calentamiento sobre el Mediterráneo, lo que conduce a una inestabilidad convectiva que produce precipitación de carácter frontal

Otra característica relevante, debido al distanciamiento del Atlántico (y su contribución relativamente baja a la precipitación), la existencia de centros de ciclogénesis propios:

- Las depresiones atlánticas que penetran en el Mediterráneo occidental representan el 9% de las que afectan a la región
- Otro 17% se originan al S del Atlas, especialmente al final del invierno
- El 74% restante de los sistemas de bajas presiones se originan dentro de la propia Cuenca Mediterránea:

El calentamiento del aire polar marítimo Atlántico produce una Masa de aire Mediterráneo", cuyo límite sur forma el Frente Mediterráneo, situado sobre éste y sobre el Mar Caspio en invierno.

La formación de depresiones someras bajas, debidas a la orografía y a los contrastes térmicos es muy frecuente en el Mediterráneo, debido a su compleja topografía. Pero el Mediterráneo también presenta las mayores concentraciones de verdadera ciclogénesis del mundo, al menos durante el invierno (tan activas como para ser consideradas "bombas meteorológicas").

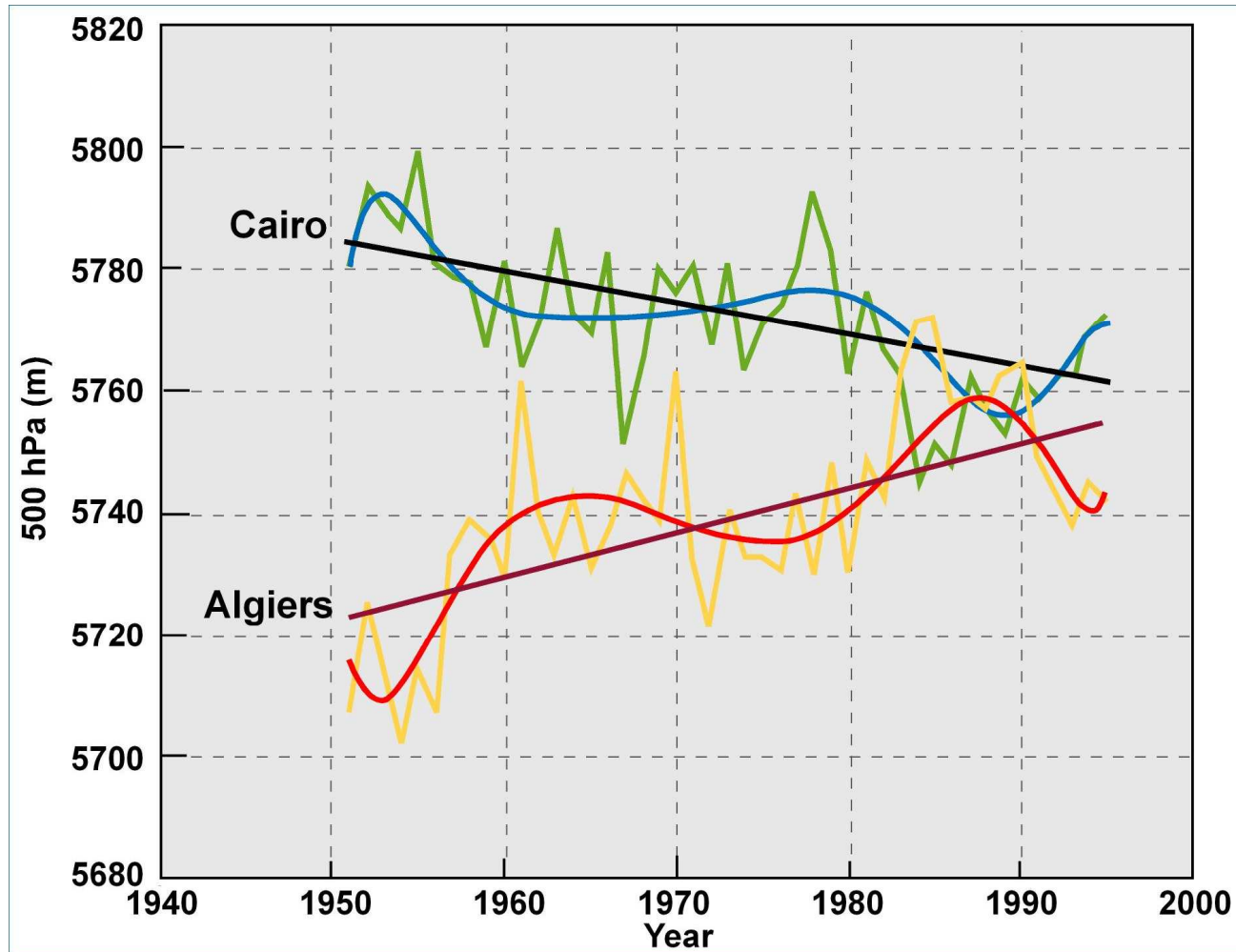
Hay una concentración muy alta de actividad en el Golfo de Génova, y máximos secundarios en el Egeo, Adriático, y en las áreas de Palos-Argelia, Catalano-Balear y del Golfo de León.

La irregularidad pluviométrica inherente al propio clima mediterráneo ha forzado a la comunidad científica al estudio de las variables o factores que puedan explicarla satisfactoriamente. En este sentido, la autonomía climática de las tierras ribereñas ha sido un elemento determinante en la formulación de patrones de variabilidad de baja frecuencia exclusivos para el ámbito de la cuenca del Mediterráneo Occidental, dado el enorme carácter independiente de esta región frente a sus limítrofes (Atlántico). En consecuencia, la

aspiración última ha sido buscar un patrón más influyente que la Oscilación del Atlántico Norte (NAO; North Atlantic Oscillation) a la hora de explicar la compleja y diversa pluviometría mediterránea (LOPEZ BUSTINS & AZORÍN, 2004).

Para ello se ha descrito un sistema de oscilación similar, la Oscilación Mediterránea (MO, y su correspondiente índice MOI), patrón de variabilidad de baja frecuencia que conecta las cuencas occidental y oriental, manifestándose en la existencia de correlaciones negativas entre la precipitación de ambas subregiones.

La MO está relacionada con la ciclogénesis en el Mediterráneo, principalmente en la bahía de Génova. En su fase positiva, la ciclogénesis es anormalmente intensa, y en la negativa anormalmente débil. NAOI y MOI están altamente intercorrelacionados, dado que el paso de frentes fríos del Atlántico, descritos por el primer índice, son uno de los desencadenantes de la ciclogénesis mediterránea.



La representación de la altura de la isobara de 500 para el periodo 1940-2000 en Argel y El Cairo muestra un incremento gradual en la primera ciudad, que se asoció a una sequía extrema durante los 80-90. La tendencia para la segunda fue opuesta.

En esta misma línea de trabajo, MARTÍN VIDE (2002) ha intentado justificar la variabilidad temporal de las precipitaciones en el levante peninsular planteando otro patrón de teleconexión, que define con las siglas WeMOi (Índice de la Oscilación del Mediterráneo Occidental o Index of the Western Mediterranean Oscillation) y fundamenta en la diferencia de presiones medias mensuales en superficie entre las series barométricas de Cádiz-San Fernando y Padua.

El índice del WeMO aplicado a resolución mensual, y resulta más influyente que la NAO en la precipitación del litoral valenciano y murciano en el mes de enero.

SEQUÍA ESTIVAL:

- Resulta de la expansión del anticiclón de las Azores a la región mediterránea, lo que trae consigo condiciones estables de calor y tiempo seco (puede haber algo de lluvia si se desarrollan bajas presiones, pero rara vez son importantes, y los contrastes de temperatura entre masas de aire son mucho más débiles que en invierno)
- La duración de la estación seca es mayor en las áreas Sur y Este de la cuenca, extendiéndose hasta cinco meses consecutivos
- Pueden presentarse olas de intenso calor, durante las cuáles al estrés térmico se une una frecuencia incrementada de incendios forestales
- Desde el punto de vista biológico, la sequía se puede ver acentuada por los vientos desecantes continentales de origen tropical (Sirocco, Khamsin).
- Ocasionalmente, las masas de aire monzónico traen consigo lluvias estivales al Este del Mediterráneo

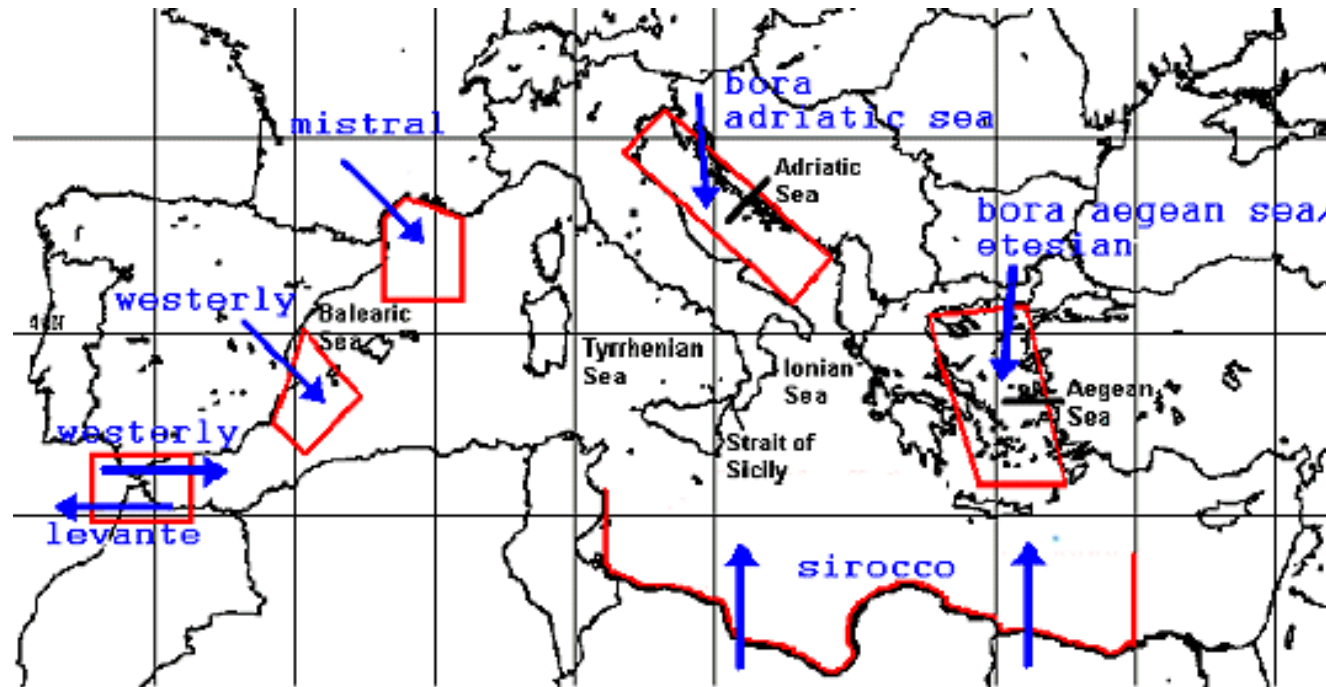
VIENTOS:

Los **fuertes vientos** son también un rasgo característico del clima mediterráneo.

- La mayoría de los vientos fuertes observados en el Mediterráneo corresponden a la categoría de vientos locales (Mistral, Tramontana, Sirocco, Etesio, Bora, Khamsin).
- Aunque se hace necesaria la contribución sinérgica de la escala sinóptica de circulación para explicar la extrema violencia de algunos episodios, la mayoría de los vientos locales del Mediterráneo se originan por la interacción del flujo de aire y las elevaciones montañosas.
- Los vientos calientes que soplan desde el desierto a través de los segmentos costeros llanos de Libia y Egipto (Chili, Shimum) y los Fuertes vientos del Este, que lo hacen sobre el Mediterráneo Oriental, podrían constituir excepciones a esta regla general
- En general, la perturbación orográfica inducida por la interacción entre la corriente de aire y la montaña puede crear áreas con un fuerte gradiente de presión que proporcionan una intensa aceleración local. El inicio de estos vientos es, en consecuencia, bastante abrupto.



Se han identificado más de 45 vientos locales, de los cuáles siete (Levante, Oeste, Mistral, Bora- adriático y -egeio, Etesio y Sirocco) pueden tener la categoría de viento duro en la escala Beaufort (>34 nudos):



- En verano pueden soplar vientos regionales desecantes, como el Kamshin (Egipto), el Lebeche (SE España) o el Sirocco (Argelia-Oriente próximo). Son vientos cálidos de procedencia S-SE y origen sahariano. Pueden depositar cantidades apreciables de polvo en Malta, Sicilia, Sur de Italia y Grecia.
- El viento incrementa fuertemente la evaporación, agravando los efectos de la sequía y de las altas temperaturas; la desecación del combustible forestal crea condiciones más favorables para la ignición

- La sequía fisiológica provocada por el viento, junto a efectos de tipo mecánico, condicionan el crecimiento de las especies forestales en zonas intensamente batidas (crecimiento en "bandera" y tejado"), el tipo de forma de vida (nanofanerófitos o caméfitos pulvinulares) o incluso limitan el desarrollo de la vegetación leñosa (pastizales)



- En las regiones costeras las brisas terrestres y marinas son importantes

NIEVE:

- Las precipitaciones y la cobertura de nieve son importantes en los interiores montañosos.
- El deshielo representa una importante contribución a la hidrología de las cuencas de drenaje y a los recursos hídricos, tanto para la vegetación natural como para la producción agrícola

HELADAS:

- En general las regiones costeras están libres de ellas, pero la altitud y la distancia al mar incrementan el riesgo de que se produzcan
- Importante para la producción agrícola. Ej.: Cítricos requieren un clima libre de heladas y crecen mejor en zonas llanas, especialmente con una ligera elevación y buena aireación (para evitar heladas debidas al embolsamiento de aire frío).

EPISODIOS DE TIEMPO EXTREMO:

- Transición verano-invierno:

La distribución estacional de los episodios de lluvias fuertes -con un máximo a final del verano y en otoño- sugiere un papel relevante de la Masa de aire mediterráneo. Esta masa de aire, cálida y húmeda, sobre todo durante este periodo, permanece concentrada a niveles bajos (<2000 m), un factor que favorece la inestabilidad convectiva. De hecho, esta inestabilidad puede desarrollarse muy fácilmente cuando aire más frío y seco se desplaza sobre el aire mediterráneo cálido y húmedo.

Una lluvia fuerte sostenida durante como mínimo unas pocas horas puede fácilmente recoger 100, 200 o incluso 500 mm de precipitación, siendo ésta precipitación la que con mayor frecuencia produce **daños** en el Mediterráneo.

Una breve selección de episodios (en solo 10 años) por una compañía de seguros, recoge 166 casos de fuerte lluvia e inundaciones y 104 de fuerte viento y tormentas causantes de daños severos. El número total de muertes es de más de 1.900 y los daños económicos cuantificados -sólo una pequeña parte de las pérdidas totales- están por encima de 6.000 millones de Euros.

Sólo para España, en cuatro años (1996-99), la estadística oficial del Programa Nacional de Prevención de Riesgos Naturales contabiliza 155 muertes por casos de fuertes lluvias e inundaciones y 28 por tormentas y fuertes vientos.

2.3.6. INFLUENCIA DEL CLIMA SOBRE LA BIODIVERSIDAD

Dada su única combinación de veranos cálidos y secos, e inviernos fríos o frescos y húmedos no hay agua disponible en las capas superficiales del suelo durante los meses de mayor insolación. En consecuencia:

- Las cortas estaciones de primavera e invierno son **periodos críticos** para el crecimiento vegetal
- Al mismo tiempo, son periodos de riesgo debido a la posibilidad de olas de frío intenso que se presenta de forma inesperada

A pesar de este invariable patrón bimodal, en la región mediterránea presenta más variación interna que las áreas septentrionales o meridionales entre las que se localiza:

- Precipitación anual puede variar entre <100 mm (borde del Sahara) y 4.000 mm (ciertos macizos costeros del S de Europa)
- Aunque no tiene mucho significado biológico, la temperatura media anual puede variar entre 2-3°C (Montes Taurus) y 20°C (localidades costeras del N de Africa)
- A escala local: condiciones climáticas pueden variar en un espacio muy corto, debido a factores como la abruptosidad, pendiente, exposición, distancia al mar...: Ej: Costa Azul se describía como una zona con "1.001 climas"

Durante al menos dos meses en el Mediterráneo occidental y de 5 a 6 en el oriental no hay precipitación ninguna:

- La mayoría de plantas y animales experimenta un déficit de agua al que han de hacer frente mediante respuestas ecofisiológicas o de comportamiento
- Para los seres vivos el calor y la sequía estival son con frecuencia más relevantes que el frío invernal, luego los largos periodos de estivación condicionan más su supervivencia que los de hibernación

IMPREDECIBILIDAD:

- Un amplio rango de variaciones climáticas, desde ciclos de cientos de años hasta eventos repentinos impredecibles, juegan un importante papel en la evolución y modelado de los ciclos de vida de las especies mediterráneas
- Interanualmente, entre distintos años, entre estaciones, e incluso diariamente, las temperaturas extremas, la precipitación, el viento y otros factores climáticos pueden variar de forma muy acusada
- Manifestaciones características de esta meteorología caprichosa e impredecible son:
 - Oscilaciones térmicas diarias muy marcadas
 - Episodios violentos de viento
 - Lluvias torrenciales concentradas en cortos periodos

Constituyen una amenaza para todo tipo de organismos vivos (y por supuesto para el ser humano):

- Transformación de cauces insignificantes en torrentes de fuerza devastadora, capaces de destruir campos de cultivo, viviendas, y vidas humanas
- Efectos sobre la biota:

Ej.: Córcega (1997): 21 de 57 nidadas de Herrerillo (*Parus caeruleus*) fueron abandonadas por los adultos tras una de estas tormentas, dejando morir a las crías

En muchos humedales costeros estos temporales provocan la pérdida por inundación de numerosas nidadas de aves larolimícolas (*Charadriiformes*)



PRECIPITACIÓN Y PRODUCTIVIDAD:

Por encima de todo, el Mediterráneo es un espacio de abundante sol, con más de 2.300 horas de sol al año en cualquier zona y más de 3.000 en las partes S y E. Combinado con las condiciones pluviométricas, permite el cultivo de la famosa "trilogía mediterránea" (trigo -de primavera-, olivo, vid).

Para los ambientes mediterráneos es bien conocida la relación existente entre las precipitaciones primaverales y la productividad primaria, que, por ejemplo, se pone de manifiesto en aspectos como las cosechas de cereales o las concentraciones de pólenes en el aire.

En un estudio realizado por DE JUANA y GARCÍA (2005) en Extremadura, la riqueza media de la comunidad de aves y las abundancias de algunas especies muestran fluctuaciones interanuales paralelas a las de las precipitaciones.

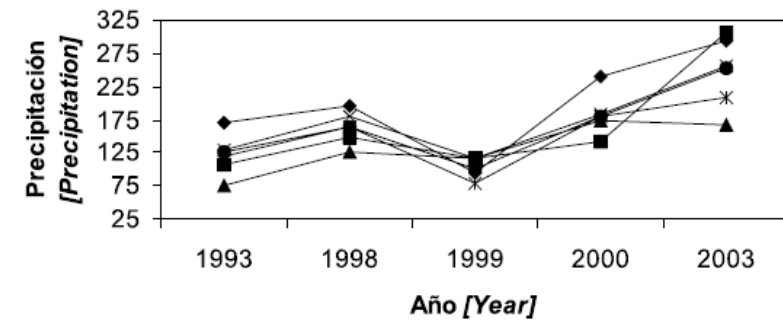
Éstas, a su vez, están obviamente relacionadas con la productividad vegetal. Por ejemplo, si comparamos el año seco 1999 y el húmedo 2000 vemos que las cosechas de trigo (rendimientos en kg/ha) fueron en la provincia de Cáceres 2,3 veces menores en el primero que en el segundo y en la de Badajoz 12 veces menores (MAPA, 2001a, 2001b). De forma similar, las concentraciones de



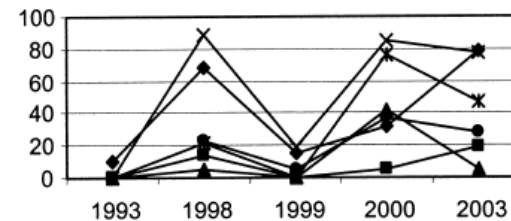
pólenes de gramíneas en el aire (granos/m³) en Badajoz ciudad fueron en los meses de abril a junio 2,6 veces menores en 1999 que en 2000.

Tales correlaciones podrían, en principio, interpretarse como argumentos a favor de la hipótesis de la limitación de los recursos en ambientes mediterráneos, caracterizados por su impredecibilidad climática (BLONDEL & ARONSON, 1999),

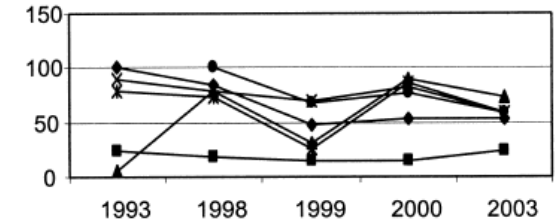
Se ha puesto de manifiesto en numerosas ocasiones la correspondencia entre las abundancias de aves (o la riqueza de sus comunidades) y la distribución geográfica de las precipitaciones, incluso entre las aves esteparias de la Península (TELLERÍA *et al.*, 1988).



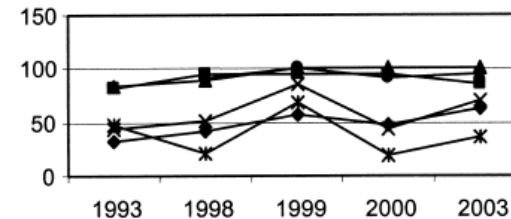
Coturnix coturnix



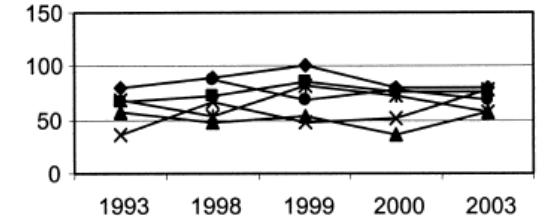
Tetrax tetrax



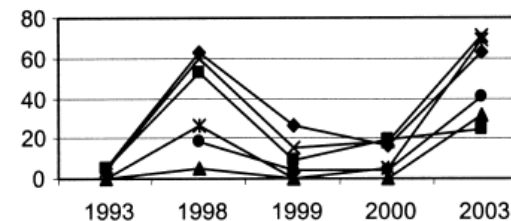
Melanocorypha calandra



Galerida spp.



Cisticola juncidis



Emberiza calandra

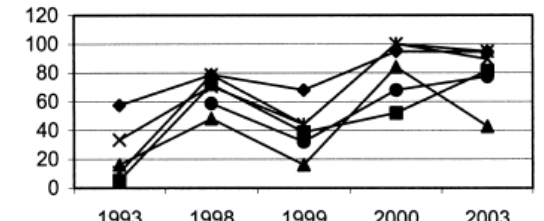


FIG. 5.—Fluctuaciones durante el periodo de estudio en las frecuencias de aparición de las aves esteparias más abundantes (localidades: ver Fig. 1).

No obstante, en el estudio citado, sólo es evidente que existan variaciones poblacionales interanuales relacionadas con la lluvia dentro del subconjunto de las aves esteparias. Una posible explicación podría radicar en que las aves no esteparias, que en general anidan en pueblos o zonas arboladas, se alimenten también en otras no tan influidas por la variabilidad de las lluvias, como dehesas, olivares y huertas (la vegetación arbórea, al utilizar agua de niveles más profundos en el suelo no depende tan estrechamente como la herbácea de las lluvias inmediatamente anteriores).

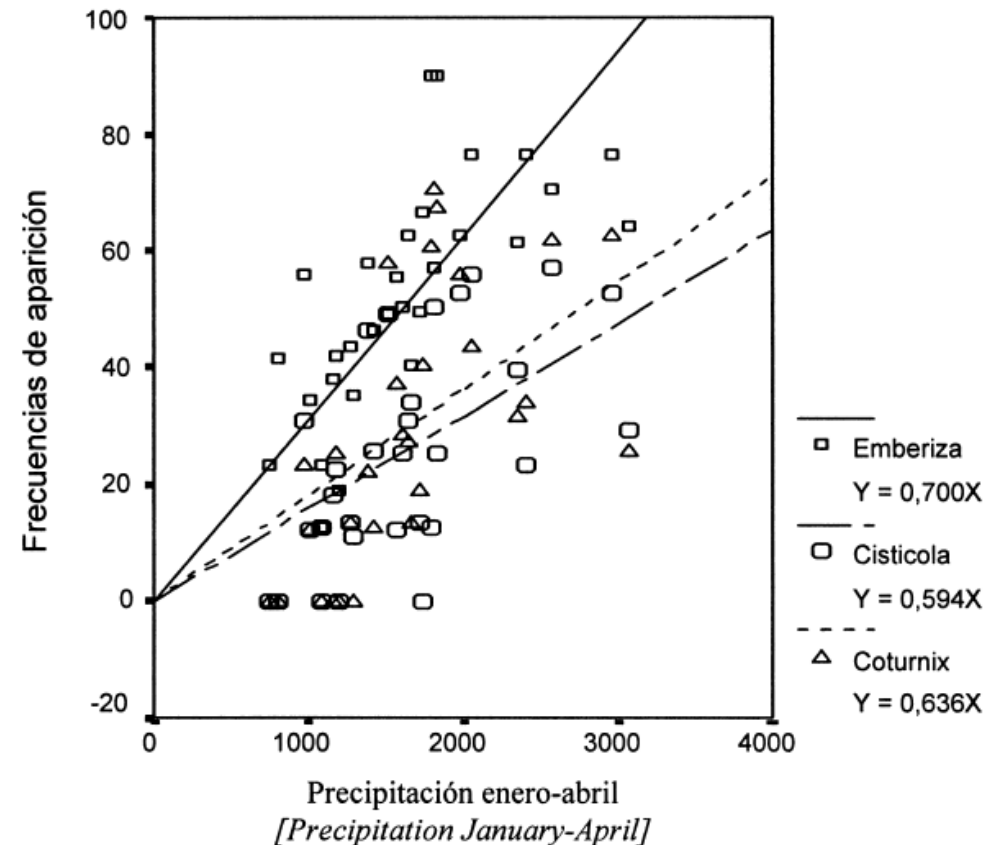


FIG. 4.—Rectas de regresión entre frecuencias de aparición y precipitaciones enero-abril, para Codorniz *Coturnix coturnix*, Buitrón *Cisticola juncidis* y Triguero *Emberiza calandra*.

La precipitación es el principal factor limitante de la productividad en climas mediterráneos (HERRERA, 1980; SORIGUER, 1981; OLEA *et al.*, 1991), teniendo un importante efecto predictor sobre los parámetros reproductivos en muchas especies de este bioma (RODRIGUEZ y BUSTAMANTE, 2003) influenciando la abundancia de alimento y por ende la condición de las aves reproductoras (VALENCIA *et al.*, 2000).

La llegada de las lluvias otoñales, que ponen fin al período de sequía estival, favorecen una explosión de diversos recursos tróficos. Este aumento de la productividad de la vegetación, pero también de la actividad de la fauna invertebrada, es influida adicionalmente por las variaciones regionales en la temperatura (TELLERÍA *et al.*, 1987).

El benigno invierno peninsular puede proveer de recursos variados a diversas poblaciones de migrantes presaharianos (y a las poblaciones sedentarias) con requerimientos diversos que se asientan en un marco geográfico muy variado (SENAR y BORRÁS, 2004).

Estudiando la reproducción del **Aguililla Calzada** (*Hieraëtus pennatus*), GARCIA y VIÑUELA (2000), sugieren que las lluvias en la primavera temprana en climas mediterráneos podrían tener un efecto positivo sobre el tamaño de puesta. En cambio, las lluvias durante el periodo de crecimiento de los pollos pueden afectar negativamente a la productividad por dificultar los vuelos de caza.



Por un lado, la lluvia en una fase temprana de la primavera en nuestra latitud puede ser indicativa de una alta disponibilidad de alimento, lo cual explicaría el alto tamaño de puesta en un año con estas características. Sin embargo, es bien sabido que la lluvia durante el periodo de crecimiento de los pollos puede dificultar la obtención de presas en rapaces planeadoras, fomentando una disminución de la productividad al reducirse la nidada por fenómenos de fratricidio o inanición.



2.3.6. HIDROLOGIA Y GEOMORFOLOGÍA

Como consecuencia del carácter irregular del ciclo hidrológico y escasez de agua, las lluvias tienen mucho de "lotería meteorológica" especialmente en los países de los bordes sur, este y oeste.

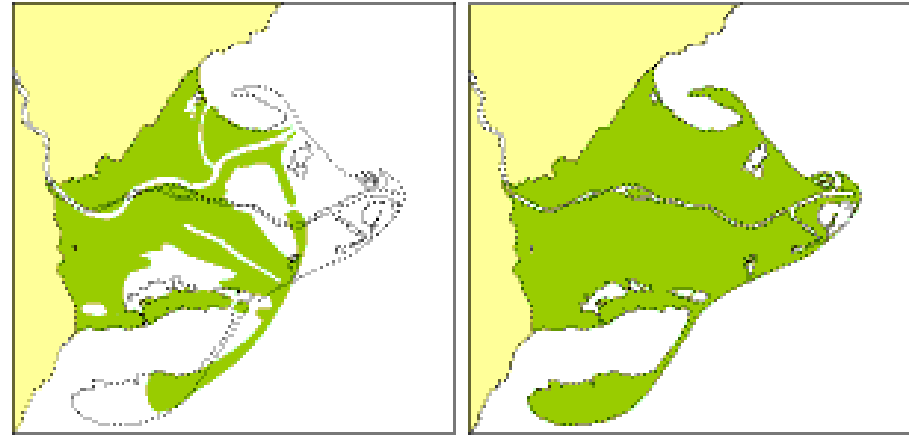
Ramblas (*ephemeral channel*) y **barrancos** (*gullys*) son formas de drenaje y un modelo de erosión mediterránea. Estos cauces torrenciales constituyen un elemento fundamental en la configuración del paisaje de los extensos secanos del territorio mediterráneo.

El clima semiárido, su pobreza pluviométrica, el carácter frecuentemente violento de las lluvias, la fuerte evaporación, la falta de alimentación freática y en cabecera, la escasa permeabilidad de los materiales drenados por estos cursos fluviales estacionales, efímeros u ocasionales, las fuertes pendientes topográficas y la escasa cubierta vegetal, determinan el comportamiento hidrológico de las escorrentías de ramblas y barrancos.

Profundos y dilatados estiajes, grandes avenidas y alta capacidad de erosión, caracterizan a estos cursos mediterráneos.

En la evolución y, en muchas ocasiones, en la génesis de estas **geoformas**, han intervenido procesos históricos humanos, en relación con los modos y cambios de uso del suelo,

especialmente con la deforestación. En los ambientes mediterráneos, parece existir una marcada interrelación entre períodos de intensa erosión en las cabeceras de las cuencas, generalmente provocadas por deforestaciones, y progradaciones deltaicas, al depositarse una enorme carga de sedimentos en las desembocaduras de los ríos y ramblas que llegan al mar.



El litoral mediterráneo presenta un aspecto frecuentemente compartimentado debido al relieve y a la tectónica. El litoral está a menudo cortado por grandes fracturas y por montañas que caen abruptamente sobre el mar. Son **costas acantiladas**: "brava" en Cataluña, "calanques" en Provenza o "canali" en el Adriático.

Los **deltas fluviales**, grandes como los del Ebro, Ródano, Po y Nilo, o menos extensos como los del Medjerda, Axios, Aliakmon, Calamas, Acheron, Ceyhan, Arno, Ombrone, Tiber, Llobregat, Mijares, etc., constituyen, o han constituido siglos atrás, ambientes inestables, evolutivos a escala histórica, muy sensibles a las variaciones del nivel del mar, con rápidas alternancias de erosión y sedimentación que se traducen en avances o retrocesos del litoral.

Llanuras y vegas de reducida extensión y de carácter frecuentemente pantanoso (*wetland*). La transformación de estas zonas tenidas por insalubres (el paludismo era un enfermedad endémica hasta hace pocos años), en tierras de alto rendimiento agrícola (regadío), ha constituido una de las luchas más duras del hombre mediterráneo, una de las originalidades de su historia rural y uno de los cambios ambientales más importantes registrados en el último milenio y, en particular, en los dos últimos siglos.

Algunos ejemplos: Bajo segura (España) mediados del siglo XVIII, Mitidja (Argelia) a principios del siglo XX, llanura de Salónica (Grecia) hacia 1925, delta del Ebro (España) y marismas Pontinas (Italia) en los años treinta. Algunos de estos humedales, como la Albufera de Valencia (España), Etangs del Bas Languedoc o la Camargue (Francia), si bien han visto reducido acusadamente su perímetro por procesos naturales y sobre todo antrópicos, todavía conservan en gran parte, enorme interés ecológico.



2.5. Bibliografía

- ALLEN, H. 2001. *Mediterranean Ecogeography*. Prentice-Hall. Harlow, UK.
- BLONDEL, J. & ARONSON, J. 1999. *Biology and Wildlife of the Mediterranean Region*. Oxford University Press, Oxford (UK).
- DE JUANA, E. y GARCÍA, A. M. 2005. Fluctuaciones relacionadas con la precipitación en la riqueza y abundancia de aves de medios esteparios mediterráneos. *Ardeola*, 52(1): 53-66.
- GARCÍA DIOS, I. S. y VIÑUELA J. 2000. Efecto de la gestión forestal sobre el éxito reproductor del aguililla calzada *Hieraaetus pennatus* en el valle del Tiétar. *Ardeola* 47(2): 183-190.
- GROVE, A.T. & RACKHAM, O. 2001. *The Nature of Mediterranean Europe. An Ecological History*. Yale University Press. New Haven and London., 384 pp.
- HERRERA, C.M., 1980. Composición y estructura de dos comunidades mediterráneas de passeriformes. *Doñana Acta Vertebrata*, 7(4): 1-340.
- LÓPEZ BUSTINS, J. A. & AZORÍN, C. 2004. Aplicación del índice diario de la Oscilación del Mediterráneo Occidental al estudio de la tipología pluviométrica en Alicante. *IV Congreso Asociación Española de Climatología*. Santander
- MARTÍN VIDE, J. 2002. Ensayo sobre la Oscilación del Mediterráneo Occidental y su influencia en la pluviometría del este de España. En: *El Agua y el Clima*, publicaciones de la AEC, serie A, n.º 3, Mallorca, pp. 35-42
- MARTÍN-PIERA, F. & SANMARTÍN, I. 1999. Biogeografía de áreas y biogeografía de artrópodos holárticos y mediterráneos. *Bol. S.E.A.*, 26: 535-560.
- OLEA, L., PAREDES, J. y VERDASCO, M.P., 1991. Características y producción de los pastos de las dehesas del S.O. de la Península Ibérica. *Pastos*, 20-21: 131-156.

- RODRIGUEZ, C. y BUSTAMANTE, J., 2003. The effect of weather on lesser kestrel breeding success: can climate change explain historical population declines?. *Journal of Animal Ecology* 72, 793-810.
- SENAR J.C. y BORRÁS, A. 2004. Sobrevivir al invierno: estrategias de las aves invernantes en la península Ibérica. *Ardeola*, 51(1): 133-168.
- SORIGUER, R.C., 1981. Biología y dinámica de una población de conejos (*Oryctolagus cuniculus* L.) en Andalucía occidental. *Doñana, Acta Vertebrata* 8, 1-379.
- TELLERÍA, J. L., SUÁREZ, F. & SANTOS, T. 1988. Bird communities of the Iberian shrubsteppes. *Holarctic Ecology*, 11: 171-177.
- TELLERÍA, J.L., SANTOS, T y CARRASCAL, L.M. 1987. La invernada de los passeriformes (O. Passeriformes) en la Península Ibérica. Pág 153-166. En TELLERÍA, J.L (Ed). *Invernada de aves en la Península Ibérica. Monografías SEO Nº 1*.
- VALENCIA .J., DE LA CRUZ, C. y CARRANZA, J., R., 2000. Second broods in a Mediterranean cooperatively-breeding corvid: the Azure-winged Magpie. *Etología*, 8: 25-28.
- VARGAS, M., GARCÍA MARTÍNEZ, M.C., MOYA, F., TEL, E., PARRILLA, G., PLAZA, F. & LAVIN, A. 2008. *Cambio climático en el Mediterráneo español*. Instituto Español de Oceanografía - Ministerio de Educación y Ciencia.